

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПУ НАГРІВАННЯ ГЕТЕРОГЕННОГО РІДКОГО СЕРЕДОВИЩА

Вінницький національний технічний університет

Методи регулярного теплового режиму корисні за умов дослідження нестационарних теплових процесів в системах «навколишнє середовище – тверде тіло (набір твердих тіл)» з метою визначення теплофізичних параметрів твердих тіл.

Проведені дослідження системи «вода в кільцевому об'ємі – тонка циліндрична металева стінка – складна рідка суміш в циліндричному об'ємі» в умовах нестационарних теплових процесів на предмет можливості реалізації регулярного теплового режиму в названій системі, зі складною сумішшю.

Дослідження проводилося на експериментальній установці (експериментальний стенд), яка складається із зовнішньої металевої посудини, яка має циліндричну форму, внутрішньої металевої циліндричної посудини та ізольованої ззовні металевої кришки.

Було визначено, що на проміжку, який досліджується, витримується співвідношення для надлишкової температури $\ln(\vartheta) = f(t)$, яке характерне для регулярного теплового режиму.

Експериментально встановлено, що регулярний тепловий режим має місце до тих пір, поки в складній багатокомпонентній суміші (кисле молоко) не починається суттєва перебудова її структури, тобто перехід цієї суміші в двофазну систему (сироватка + сирна маса).

Ключові слова: двофазна система, багатокомпонентна суміш, регулярний тепловий режим, нестационарний теплообмін, темп охолодження, надлишкова температура.

Вступ

Якщо тверде тіло занурити в середовище з більш високою температурою, між ними одразу починається процес теплообміну і тіло починає прогріватися. Спочатку тіло нагрівається ззовні, а з часом прогріватися по всьому об'ємі. Даний процес буде тривати до того часу, як температура тіла не досягне температури середовища, в яке занурене, тоді настає тепла рівновага [1 – 2].

Під час прогріву тіла, теплота йде на підвищення його ентальпії. При охолодженні тіла навпаки, його ентальпія зменшується, а виділена теплота передається в навколишнє середовище, відбувається нестационарний процес.

Під нестационарними процесами теплопровідності розуміються теплові процеси в яких температурне поле змінюється в часі і є функцією від часу. Дані процеси характеризуються постійною зміною ентальпії тіла, в результаті чого воно нагрівається або охолоджується. Відповідно, під стаціонарними процесами теплопровідності розуміються теплові процеси, в яких температурне поле не змінюється в часі [3 – 6].

Основною задачею нестационарної теплопровідності є знаходження залежності зміни температури та кількості переданої теплоти в часі для будь – якої точки тіла.

В роботі [3] були встановлені загальні закономірності процесу і вирішенні конкретні практичні завдання. В теорії теплопровідності для простих тіл існують точні рішення при різній початковій температурі [3].

В часі, процес охолодження (нагрівання) тіла можна розділити на такі етапи: етап неупорядкованого (ірегулярного) процесу і етап регулярного режиму. Ірегулярний процес характеризується сильним впливом на температурне поле початкових умов теплового стану тіла. Потім вплив початкових особливостей температурного поля, а також його подальша зміна згладжується, процес із етапу неупорядкованого переходить на етап впорядкованого – "регулярного". У регулярному тепловому режимі закон зміни температурного поля в часі набуває просту експонентну форму. Ці висновки можна вивести з аналізу рішення рівняння теплопровідності для охолодження твердого ізотропного тіла в середовищі з постійною температурою [3].

Теорія регулярного теплового режиму (РТР) привертає до себе велику увагу за рахунок встановлення більш простої аналітичної залежності між температурним полем тіла і параметрами, які описують вплив навколишнього середовища на тіло. А також РТР можна застосовувати до тіл будь – якої форми і складу («систем») [3]. В свою чергу відомі теорії теплопровідності застосовують тільки для простих тіл або їх частин.

Існують різні методи по визначенню інтенсивності теплообміну в багатофазних та багатокомпонентних середовищах [4, 5, 7 – 10], але не всі методи можна використати для середовищ з обмеженою інформацією про теплофізичні властивості. На сьогоднішній день існує обмежена кількість праць по РТР в системі «рідина – тонка металева циліндрична поверхня з невеликим термічним опором – в'язка рідина (складна рідка суміш)». В [4, 5] показана можливість застосування методу регулярного теплового режиму для дослідження інтенсивності тепловіддачі до в'язких рідин та органічних сумішей. Вивчався теплообмін в системі «циліндричний об'єм заповнений водою – металева стінка – суміш». Для більш глибокого вивчення теорії регулярного теплового режиму необхідне подальше накопичення експериментальних даних з різними рідинами і сумішами, у вказаній системі.

Мета роботи – встановити доцільність застосовування теорії регулярного теплового режиму для визначення інтенсивності теплообміну до в'язких рідин.

Основні результати

Проведення експерименту здійснюється таким чином [4, 5]. В металеву ємність I, об'ємом 700 мл, наливається кисле молоко, що представляє собою густу масу без розділення на компоненти, з температурою 10°C; в експериментальну установку в кільцевий об'єм III – гаряча вода в кількості 2400 мл, з температурою 80°C. Ємність I поміщається в експериментальну установку, накривається ізольованою кришкою і знаходиться там до зрівнянь температур $\pm 5^\circ\text{C}$ в обох рідинах. Відповідно, в гарячу та холодну рідини поміщаються термометри для фіксування температур кожні 10 секунд, які підключенні до комп'ютера та значення яких записуються одразу в програму Excel. В кінці експерименту отримуємо розділення кислого молока на сироватку і «сирну масу». Під час дослідів відбувається природний нестационарний процес, вода охолоджується, а кисле молоко нагрівається. Теплота від води до кислого молока передається через тонку металеву циліндричну поверхню II. Кільцевий об'єм III утворений циліндричною стінкою II та ізольованою зовні циліндричною стінкою IV.

На рисунку 1 відображено теплообмін в системі «вода в кільцевому об'ємі – тонка циліндрична металева стінка – складна рідка суміш в циліндричному об'ємі».

Під час експерименту проводиться вимірювання температур у зовнішній посудині в п'яти точках та у внутрішній посудині вздовж теплообмінної поверхні в чотирьох точках.

Було виявлено, що залежність $\ln(\theta) = f(\tau)$ для охолодження системи «вода в кільцевому об'ємі – циліндрична металева стінка – складна рідка суміш в циліндричному об'ємі» витримується для теорії регулярного теплового режиму, який спостерігається при розрахунку для осереднених показників термопар [1, 3].

Для визначення теплових потоків проводиться осереднення температур по висоті теплообмінної поверхні в момент часу [9]:
у внутрішній порожнині

$$t_{\text{сеп}}' = \frac{\sum_{i=1}^4 t_i'}{i}, \quad (1)$$

у зовнішній порожнині

$$t_{\text{сеп}}'' = \frac{\sum_{i=1}^5 t_i''}{i}; \quad (2)$$

де i — кількість термометрів.

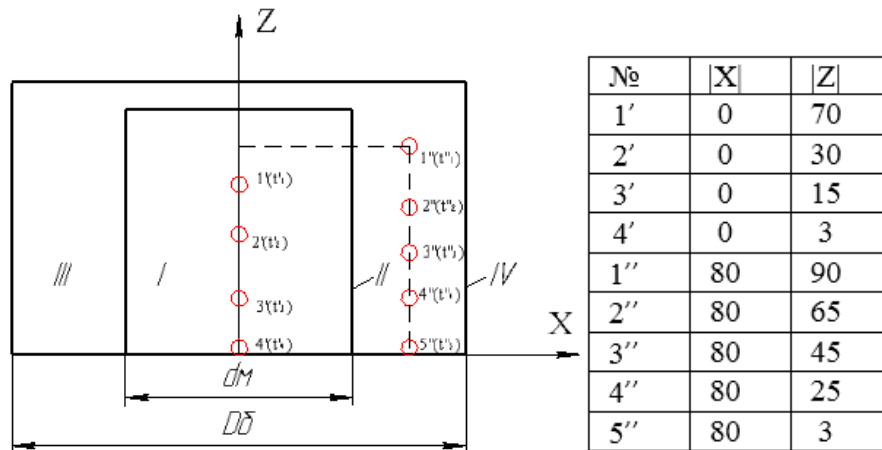


Рисунок 1 – Базовий елемент експериментальної установки

Також було проведено аналогічне експериментальне дослідження для системи «вода в кільцевому об'ємі – циліндрична металева стінка – вода в циліндричному об'ємі».

На рисунках 2 і 3 зображено зміну логарифму надлишкової температури води та кислого молока від часу, відповідно. З них бачимо, що зміна середньої температури відбувається за законом регулярного теплового режиму [3].

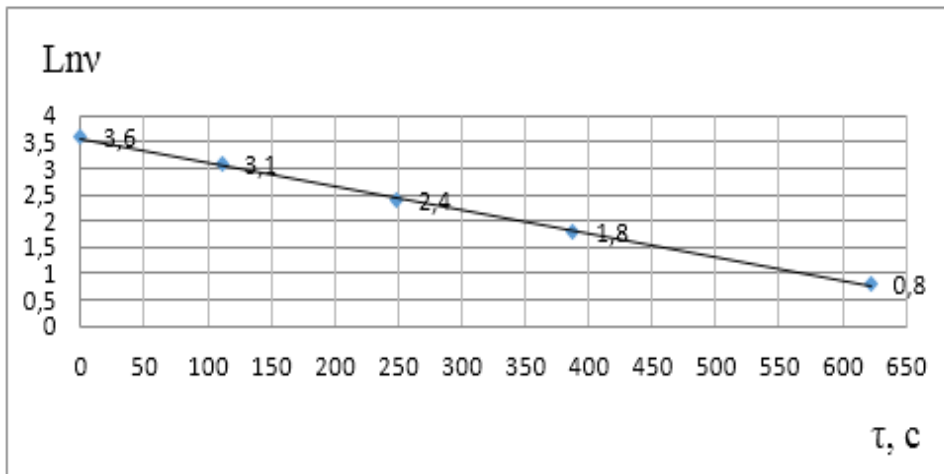


Рисунок 2 – Розподіл надлишкової температури за часом в воді

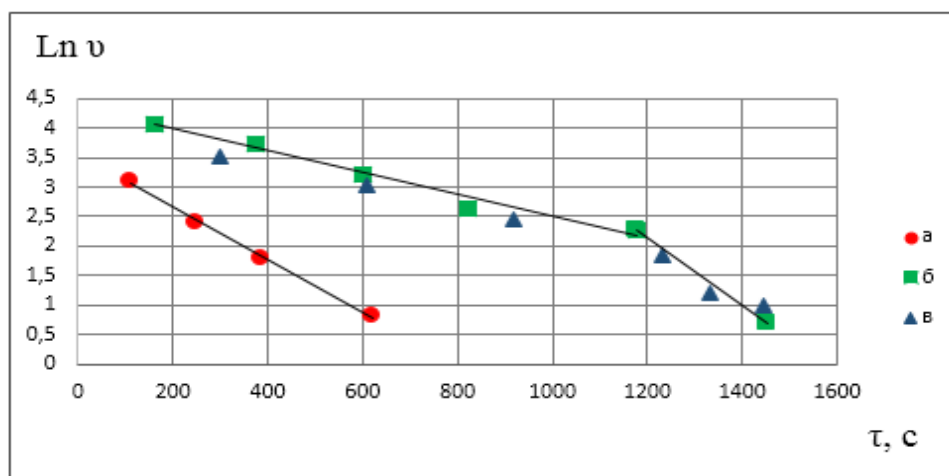


Рисунок 3 – Розподіл надлишкової температури за часом для: а – води; б – кислого молока I серії дослідів; в – кислого молока II серії дослідів

Характеризуючи розподіл надлишкової температури в воді з рисунку 2, бачимо чіткий лінійний темп охолодження за часом. На рисунку 3 для I та II серії дослідів темп охолодження зменшується на ділянці 1100 – 1200 с, це відбувається процес розділення кислого молока на сироватку і “сирну масу”.

Методика обробки дослідів (рис. 4). На експериментальній залежності зміни середньої температури грійного теплоносія $t_{сер1}(\tau)$ і натурної суміші (вода) $t_{сер2}(\tau)$ в часі вибирається проміжок часу. В досліді вибирається три ділянки, де маємо час $\Delta\tau_1$, $\Delta\tau_2$, $\Delta\tau_3$. Для цих ділянок визначаються $\overline{\Delta t}$, $\overline{t_1}$, $\overline{t_2}$, $k_{екс}$. Досліджується весь проміжок часу, розраховуючи різні ділянки.

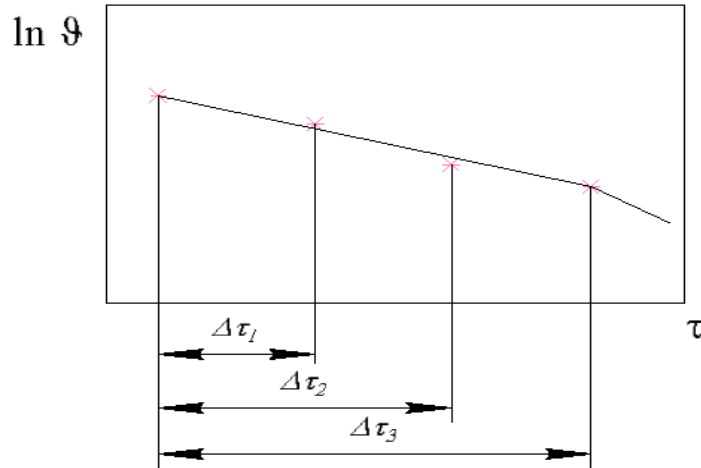


Рисунок 4 – Обробка результатів

В таблиці 1 представлені розрахункові значення експериментів для системи «вода в кільцевому об'ємі – циліндрична металева стінка – вода в циліндричному об'ємі». В процесі обробки експериментів прийнято: I ділянка з $\Delta\tau_1 = (0 - 111)$ с, II ділянка з $\Delta\tau_2 = (0 - 388)$ с, III ділянка з $\Delta\tau_3 = (0 - 622)$ с.

Таблиця 1

Розрахункові значення експериментів для системи «вода в кільцевому об'ємі – циліндрична металева стінка – вода в циліндричному об'ємі»

№ дослідів	Q, кДж	q', кВт/м ²	K _{експ} , Вт/(м ² ·К)	m, (с ⁻¹)
I ділянка	30	16,1	294	0,0045
II ділянка	66	8,2	273	0,0045
III ділянка	72	6,1	220	0,0045

В таблиці 2 представлені розрахункові значення експериментів для системи «вода в кільцевому об'ємі – тонка циліндрична металева стінка – складна рідка суміш в циліндричному об'ємі» для I серії дослідів. В процесі обробки експериментів прийнято: I ділянка з $\Delta\tau_1 = (0 - 215)$ с, II ділянка з $\Delta\tau_2 = (0 - 441)$ с, III ділянка з $\Delta\tau_3 = (0 - 663)$ с.

Таблиця 2

Розрахункові значення експериментів для системи «вода в кільцевому об'ємі – тонка циліндрична металева стінка – складна рідка суміш в циліндричному об'ємі» для I серії дослідів

№ дослідів	Q, кДж	q', кВт/м ²	K _{експ} , Вт/(м ² ·К)	m, (с ⁻¹)
I ділянка	39	5,5	112	0,0021
II ділянка	81	5,6	134	0,0021
III ділянка	108	4,9	144	0,0021

Теплота, що сприймається холодним теплоносієм (кислим молоком – сумішшю «сироватка + сирна маса»), кДж

$$Q' = M' \cdot C'_p \cdot \Delta t'_{cep}, \quad (3)$$

де M' , C'_p – маса та питома теплоємність гарячого і холодного теплоносіїв, відповідно. Різниця температур, осереднених по висоті теплообмінної поверхні у внутрішній посудині

$$\Delta t'_{cep} = t'_{cep1} - t'_{cep2}, \quad (4)$$

де t'_{cep1} , t'_{cep2} – осереднена по висоті теплообмінної поверхні температура у внутрішній порожнині в початковий і кінцевий момент часу експерименту, відповідно.

Питомий тепловий потік, який сприймається холодним теплоносієм, кВт/м²

$$q' = \frac{Q'}{F_{то} \cdot \Delta t}, \quad (5)$$

де $F_{то}$ – площа теплообмінної поверхні, м²; Δt – проміжок часу, який досліджується, с. Експериментальний коефіцієнт теплопередачі в системі, Вт/(м²·К)

$$k_{експ} = \frac{Q'}{\Delta t}, \quad (6)$$

де $\overline{\Delta t} = \overline{t_1} - \overline{t_2}$ – середній температурний напір.

В таблицях 1 і 2, темп охолодження (нагрівання) рідини m розрахований за методикою Кондратьєва Г.М. [3].

Темп регулярного охолодження системи m визначається з рівняння, с⁻¹ [3]

$$m = \frac{\ln \vartheta_1 - \ln \vartheta_2}{\tau_1 - \tau_2}, \quad (7)$$

де ϑ_1 , ϑ_2 – надлишкові локальні температури тіла в початковий τ_1 та кінцевий τ_2 момент часу відповідно, $\vartheta = |t_{cep} - t_{cep}'|$, °С.

Порівнюючи експериментальні дослідження темпу охолодження кислого молока та води, бачимо різницю в 33 – 47 %.

Аналізуючи рисунок 3 виявлено, що залежність $\ln(\vartheta) = f(\tau)$ для охолодження системи «вода в кільцевому об'ємі – тонка циліндрична металева стінка – складна рідка суміш в циліндричному об'ємі», характерна для регулярного теплового режиму, який спостерігається у твердих тілах різної форми [3].

На однаковому етапі $\tau = (1100 - 1200)$ с, для кривих I та II серії дослідів кислого молока, очевидне різке падіння темпу охолодження.

Висновки

Відома доцільність використання методів регулярного теплового режиму за умов нестационарних теплових процесів в системах «навколишнє середовище – тверде тіло (набір твердих тіл)» для визначення теплофізичних параметрів твердих тіл та тепловіддачі.

Досліджена система «вода в кільцевому об'ємі – тонка циліндрична металева стінка – складна рідка суміш в циліндричному об'ємі» в умовах нестационарних теплових процесів на предмет можливості реалізації регулярного теплового режиму в названій системі, зі складною сумішшю.

За результатами досліджень встановлено, що регулярний тепловий режим має місце до тих пір, поки в складній суміші не починається суттєва перебудова її структури, тобто багатокomпонентної

суміші (кислого молока) в двофазну систему (сироватка + сирна маса).

Отримані експериментальні дані встановлюють доцільність застосування теорії регулярного теплового режиму для визначення інтенсивності теплообміну до в'язких рідин.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Михеев М. А. Основы теплопередачи. Изд. 2-е, стереотип / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – М.: «Энергия», 1977. – 344 с.
2. Ткаченко С. Й. Тепломасообмін і гідродинаміка багатокомпонентних середовищ: навчальний посібник / С. Й. Ткаченко, Н. Д. Степанова; ВНТУ. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 110 с.
4. Кондратьев Г. М. Регулярный тепловой режим / Г. М. Кондратьев. – М.: Государственное издательство технико – теоретической литературы, 1954. – 408 с.
5. Денесяк Д. І. Нестационарний теплообмін у системі «вода-стінка-в'язка рідина» / Д. І. Денесяк. – Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2018. – №1. – 152–157 с.
6. Ткаченко С. Й. Теплофізичне тестування реологічного поведіння складних рідинних середовищ / С. Й. Ткаченко, Н. В. Паламарчук, Д. І. Денесяк. – Вісник Вінницького політехнічного інституту – 2014. – №1. – 99–108 с.
7. Лыков А. В. Тепломасообмен. Справочник / А. В. Лыков. – М.: Энергия, 1971. – 560 с.
8. Федоткин И. М., Ткаченко С.Й. Теплогидродинамические процессы в выпарных аппаратах / И. М. Федоткин, С. Й. Ткаченко. – «Техніка», К.: 1975. – 212 с.
9. Ткаченко С. Й. Теплообмін в системах біоконверсії: монографія / С. Й. Ткаченко, Н. В. Резидент. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 124 с.
10. Ткаченко С. Й. Нові методи визначення інтенсивності теплообміну в системах переробки органічних відходів: монографія / С. Й. Ткаченко, Н. В. Пішеніна. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 148 с.
11. Исаченко В. П. Теплопередача. Учебник для вузов, изд. 3 – е, перераб. и доп. / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – М.: «Энергия», 1975. – 488 с.

REFERENCES

1. Mikheev M. A. Fundamentals of heat transfer. Izd. 2nd, stereotype / M. A. Mikheev, I. M. Mikheeva. – M.: "Energy", 1977. – 344 p.
2. Tkachenko S. Y. Heat-mass exchange and hydrodynamics of multicomponent media: a manual / S. Y. Tkachenko, N. D. Stepanova; VNTU. – Vinnitsa: VNTU, 2017. – 110 p.
3. Kondrat'ev G. M. Regular thermal regime / G. M. Kondratiev. – M.: State Publishing House of Techno – Theoretical Literature, 1954. – 408 p.
4. Denisiyak D. I. Non-stationary heat exchange in the system "water – wall – viscous fluid" / D. I. Denysiak. – Engineering, power engineering, transport of agroindustrial complexes. – 2018 – №1. – 152–157 pp.
5. Tkachenko S. Y. Thermophysical testing of rheological behavior of complex liquid media / S. Y. Tkachenko, N. V. Palamarchuk, D. I. Diensiyak. – Herald of the Vinnytsia Polytechnic Institute – 2014. – № 1. – 99–108 pp.
6. Lykov A. V. Heat mass transfer. Directory / A. V. Lykov. – M.: Energy, 1971. – 560 p.
7. Fedotkin I. M., Tkachenko S. Y. Teplohydrodinamicheskie processes in evaporating apparatus / I. M. Fedotkin, S. Y. Tkachenko. – "Technique", K.: 1975. – 212 p.
8. Tkachenko S. Y. Heat exchange in bioconversion systems: monograph / S. Y. Tkachenko, N. V. Resident. – Vinnitsa: VNTU, 2011. – 124 p.
9. Tkachenko S. Y. New methods for determining the heat transfer intensity in organic waste processing systems: monograph / S. Y. Tkachenko, N. V. Pishenin. – Vinnitsa: VNTU, 2017. – 148 p.
10. Isachenko V. P. Heat transfer. Textbook for high schools, ed. 3rd, pererab. and add / V. P. Isachenko, V. A. Osipova, A. S. Sukomel. – Moscow: "Energy", 1975. – 488 p.

Ткаченко Станіслав Йосипович – д-р. техн. наук, професор кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, e-mail: stahit6937@gmail.com.

Власенко Ольга Володимирівна – аспірант кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, email: olgakysak7@gmail.com. ORCID: 0000-0002-8975-0873.

S. Tkachenko

O. Vlasenko

STUDYING THE TEMPLE OF HEATING OF HETEROGENEOUS RELATED ENVIRONMENT

Vinnytsia National Technical University

Regular thermal methods are useful in the investigation of non-stationary thermal processes in the systems "environment – solid (set of solids)" in order to determine the thermophysical parameters of solids.

The investigation of the system "water in a ring volume – a thin cylindrical metal wall – a complex liquid mixture in a cylindrical volume" in the conditions of non-stationary thermal processes for the possibility of realizing a regular thermal regime in the named system, with a complex mixture.

The research was carried out on an experimental installation (experimental stand), which consists of an outer metal

vessel, which has a cylindrical shape, an inner metal cylindrical vessel and an insulated outside of the metal cover.

It was determined that the ratio for excess temperature $\ln(\theta) = f(\tau)$, which is characteristic for the regular thermal regime, is maintained on the investigated gap.

It has been experimentally established that regular thermal regime takes place as long as a complex multicomponent mixture (sour milk) does not begin to substantially restructure its structure, that is, the transition of this mixture into a two-phase system (serum + crude mass).

Key words: two-phase system, multicomponent mixture, regular thermal regime, non-stationary heat transfer, cooling rate, excess temperature.

Tkachenko Stanislav – Dr. tech Sciences, Professor of the Department of Thermal Power Engineering, Vinnytsia National Technical University.

Vlasenko Olga – postgraduate student of the Department of Heat and Power Engineering, Vinnytsia National Technical University.

С. И. Ткаченко

О. В. Власенко

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПОВ НАГРЕВА ГЕТЕРОГЕННЫХ ЖИДКИХ СРЕД

Винницкий национальный технический университет

Методы регулярного теплового режима полезные в условиях исследования нестационарных тепловых процессов в системах «окружающая среда - твердое тело (набор твердых тел)» с целью определения теплофизических параметров твердых тел.

Проведенные исследования системы «вода в кольцевом объеме - тонкая цилиндрическая металлическая стенка - сложная жидкая смесь в цилиндрическом объеме» в условиях нестационарных тепловых процессов на предмет возможности реализации регулярного теплового режима в названной системе, со сложной смесью.

Исследование проводилось на экспериментальной установке (экспериментальный стенд), которая состоит из внешней металлической емкости, которая имеет цилиндрическую форму, внутренней металлической цилиндрического сосуда и изолированной извне металлической крышки.

Было определено, что на промежутке, который исследуется, выдерживается соотношение для избыточной температуры $\ln(\theta) = f(\tau)$, которая характерна для регулярного теплового режима.

Экспериментально установлено, что регулярный тепловой режим имеет место до тех пор, пока в сложной многокомпонентной смеси (кислое молоко) начинается не существенная перестройка ее структуры, т.е. переход этой смеси в двухфазную систему (сыворотка + творожная масса).

Ключевые слова: двухфазная система, многокомпонентная смесь, регулярный тепловой режим, нестационарный теплообмен, темп охлаждения, избыточная температура.

Ткаченко Станислав Иосифович – д-р. техн. наук, профессор кафедры теплоэнергетики, Винницкий национальный технический университет.

Власенко Ольга Владимировна – аспирант кафедры теплоэнергетики, Винницкий национальный технический университет.